



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 199 60 389 A 1

51 Int. Cl. 7:
B 01 J 19/18
C 08 J 3/28

21 Aktenzeichen: 199 60 389.8
22 Anmeldetag: 15. 12. 1999
43 Offenlegungstag: 5. 7. 2001

DE 199 60 389 A 1

71 Anmelder:
BASF Coatings AG, 48165 Münster, DE
74 Vertreter:
Dres. Fitzner & Münch, 40878 Ratingen

72 Erfinder:
Jung, Werner-Alfons, Dr., 59387 Ascheberg, DE;
Rink, Heinz-Peter, Dr., 48153 Münster, DE; Moritz,
Hans-Ulrich, Prof. Dr., 21227 Bendestorf, DE;
Conrad, Iris, 22763 Hamburg, DE; Kossak, Sabine,
22083 Hamburg, DE

56 Entgegenhaltungen:

DE 198 28 742 A1
DE 198 16 886 A1
DE 196 28 143 A1
DE 196 28 142 A1
DE 692 14 312
EP 04 01 565 A1
WO 98 22 524 A1

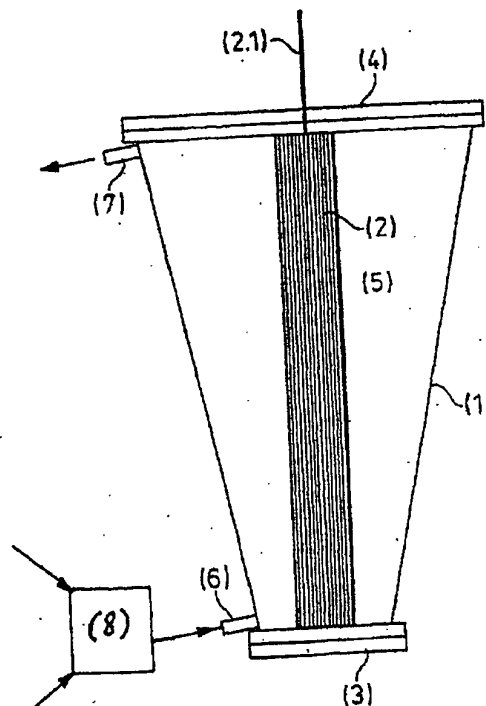
Katoka Kuno, u.a.: Emulsion polymerisation of
styrene in a continuous Taylor vortex flow reactor.
In: Chemical Engineering Science. ISSN0009-2509.
1995, Vol.50, Nr.9, S.1409-1416;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Taylorreaktor für Stoffumwandlungen mit vorgeschaltetem Mischaggregat

57 Taylorreaktor zur Durchführung von Stoffumwandlungen mit einer äußeren Reaktorwand (1) und einem hierin befindlichen konzentrisch oder exzentrisch angeordneten Rotor (2), einem Reaktorboden (3) und einem Reaktordeckel (4), welche zusammen das ringspaltförmige Reaktorvolumen (5) definieren, mindestens einer Vorrichtung (6) zur Zudosierung von Edukten sowie einer Vorrichtung (7) für den Produktablauf sowie mindestens einem Mischaggregat (8), das mit mindestens einer Vorrichtung (6) verbunden ist und worin mindestens zwei Komponenten des Reaktionsmediums zusammengeführt und vor ihrem Eintritt in das Reaktorvolumen (5) miteinander vermischt werden. Tritt bei der Stoffumwandlung eine Änderung der Viskosität ν des Reaktionsmediums ein, ist oder sind die Reaktorwand (1) und/oder der Rotor (2) geometrisch derart gestaltet, daß auf im wesentlichen der gesamten Reaktorlänge im Reaktorvolumen (5) die Bedingungen für die Taylor-Wirbelströmung erfüllt sind.



DE 199 60 389 A 1

BEST AVAILABLE COPY

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft einen neuen Taylorreaktor für physikalische und/oder chemische Stoffumwandlungen mit vorgeschaltetem Mischaggregat für Komponenten des Reaktionsmediums. Außerdem betrifft die vorliegende Erfindung den neuen Taylorreaktor für physikalische und/oder chemische Stoffumwandlungen, in deren Verlauf eine Änderung der Viskosität ν des Reaktionsmediums eintritt. Außerdem betrifft die vorliegende Erfindung ein neues Verfahren zur Stoffumwandlung, unter den Bedingungen der Taylor-Wirbelströmung, bei der die Komponenten des Reaktionsmediums in einem Mischaggregat vorgemischt und dann dem Taylorreaktor zugeführt werden. Des Weiteren betrifft die vorliegende Erfindung das neue Verfahren, bei dem die Stoffumwandlung von einer Viskositätsänderung des Reaktionsmediums begleitet ist. Des Weiteren betrifft die Erfindung Stoffe, welche mit Hilfe des neuen Verfahrens in dem neuen Taylorreaktor hergestellt worden sind, sowie deren Verwendung.

Taylorreaktoren, die der Umwandlung von Stoffen unter den Bedingungen der Taylor-Wirbelströmung dienen, sind bekannt. Sie bestehen in wesentlichen aus zwei coaxialen konzentrisch angeordneten Zylindern, von denen der äußere feststehend ist und der innere rotiert. Als Reaktionsraum dient das Volumen, das durch den Spalt der Zylinder gebildet wird. Mit zunehmender Winkelgeschwindigkeit ω_i des Innenzylinders treten eine Reihe unterschiedlicher Strömungsformen auf, die durch eine dimensionslose Kennzahl, die sogenannte Taylor-Zahl Ta , charakterisiert sind. Die Taylor-Zahl ist zusätzlich zur Winkelgeschwindigkeit des Rührers auch noch abhängig von der kinematischen Viskosität ν des Fluids im Spalt und von den geometrischen Parametern, dem äußeren Radius des Innenzylinders r_i , dem inneren Radius des Außenzylinders r_a und der Spaltbreite d , der Differenz beider Radien, gemäß der folgenden Formel:

$$Ta = \omega_i r_i d \nu^{-1} (d/r_i)^{1/2} \quad (I)$$

mit $d = r_a - r_i$.

Bei niedriger Winkelgeschwindigkeit bildet sich die laminare Couette-Strömung, eine einfache Scherströmung, aus. Wird die Rotationsgeschwindigkeit des Innenzylinders weiter erhöht, treten oberhalb eines kritischen Werts abwechselnd entgegengesetzt rotierende (kontrarotierende) Wirbel mit Achsen längs der Umfangsrichtung auf. Diese sogenannten Taylor-Wirbel sind rotationssymmetrisch, besitzen die geometrische Form eines Torus (Taylor-Wirbelringe) und haben einen Durchmesser, der annähernd so groß ist wie die Spaltbreite. Zwei benachbarte Wirbel bilden ein Wirbelpaar oder eine Wirbelzelle.

Dieses Verhalten beruht darauf, daß bei der Rotation des Innenzylinders mit ruhendem Außenzylinder die Fluidpartikel nahe des Innenzylinders einer stärkeren Zentrifugalkraft ausgesetzt sind als diejenigen, die weiter vom inneren Zylinder entfernt sind. Dieser Unterschied der wirkenden Zentrifugalkräfte drängt die Fluidpartikel vom Innen- zum Außenzylinder. Der Zentrifugalkraft wirkt die Viskositätskraft entgegen, da bei der Bewegung der Fluidpartikel die innere Reibung überwunden werden muß. Nimmt die Rotationsgeschwindigkeit zu, dann nimmt auch die Zentrifugalkraft zu. Die Taylor-Wirbel entstehen, wenn die Zentrifugalkraft größer als die stabilisierende Viskositätskraft wird.

Wird der Taylorreaktor mit einem Zu- und Ablauf versehen und kontinuierlich betrieben, resultiert eine Taylor-Wirbelströmung mit einem geringen axialen Strom. Dabei wandert jedes Wirbelpaar durch den Spalt, wobei nur ein geringer Stoffaustausch zwischen benachbarten Wirbelpaaren

auftritt. Die Vermischung innerhalb solcher Wirbelpaare ist sehr hoch, wogegen die axiale Vermischung über die Paargrenzen hinaus nur sehr gering ist. Ein Wirbelpaar kann daher als gut durchmischter Rührkessel betrachtet werden. Das Strömungssystem verhält sich somit wie ein ideales Strömungsrohr, indem die Wirbelpaare mit konstanter Verweilzeit wie ideale Rührkessel durch den Spalt wandern.

Die bislang bekannten Taylorreaktoren können für die Emulsionspolymerisation verwendet werden. Hierzu sei beispielhaft auf die Patentschriften DE-B-10 71 241 und EP-A-0 498 583 oder auf den Artikel von K. Kataoka in Chemical Engineering Science, Band 50, Heft 9, 1995, Seiten 1409 bis 1416, verwiesen.

Sie kommen auch für elektrochemische Prozesse in Betracht, wobei die Zylinder als Elektroden fungieren. Hierzu sei auf die Artikel von S. Cohen und D. M. Maron in Chemical Engineering Journal, Band 27, Heft 2, 1983, Seiten 87 bis 97, sowie von Couret und Legrand in Electrochimica Acta, Band 26, Heft 7, 1981, Seiten 865 bis 872, und Band 28, Heft 5, 1983, Seiten 611 bis 617, verwiesen.

Es ist auch bekannt, die Taylorreaktoren als photochemische Reaktoren, bei denen sich die Lichtquelle im Innenzylinder befindet, zu verwenden (vgl. hierzu die Artikel von Szechowski in Chemical Engineering Science, Band 50, Heft 20, 1995, Seiten 3163 bis 3173, von Haim und Pismen in Chemical Engineering Science, Band 49, Heft 8, Seiten 1119 bis 1129, und von Karpel Vel Leitner in Water Science and Technology, Band 35, Heft 4, 1997, Seiten 215 bis 222).

Auch ihre Verwendung als Bioreaktoren (vgl. hierzu den Artikel von Huang und Liu in Water Science and Technology, Band 28, Heft 7, 1994, Seiten 153 bis 158) oder als Flockungsreaktoren zur Abwässerreinigung (vgl. hierzu den Artikel von Grohmann in BMFT-FB-T 85-070,4985) ist beschrieben worden.

Bei all diesen bekannten Stoffumwandlungen in Taylorreaktoren ändert sich die Viskosität ν des Fluids gar nicht oder nur unwesentlich. Dadurch bleiben bei streng zylinderförmiger Geometrie des Innen- und Außenzylinders des Taylorreaktors die Bedingungen für die Taylor-Wirbelströmung auf der gesamten Länge des Ringspalts, d. h. des gesamten Reaktorvolumens, erhalten.

Sollen indes die bekannten Taylorreaktoren für Stoffumwandlungen verwendet werden, bei denen sich die Viskosität ν des Fluids mit fortschreitender Umwandlung in axialer Durchflußrichtung stark ändert, verschwinden die Taylor-Wirbel oder bleiben ganz aus. Im Ringspalt ist dann noch die Couette-Strömung, eine konzentrische, laminare Schichtenströmung, zu beobachten. Hier kommt es zu einer unerwünschten Veränderung der Durchmischungs- und Strömungsverhältnisse im Taylorreaktor. Er weist in diesem Betriebszustand Strömungscharakteristika auf, die denen des laminar durchströmten Rohres vergleichbar sind, was ein erheblicher Nachteil ist. So kommt es beispielsweise bei der Polymerisation in Masse oder in Lösung zu einer unerwünschten breiten Molmassenverteilung und chemischen Uneinheitlichkeit der Polymerisate. Außerdem können aufgrund der schlechten Reaktionsführung erhebliche Mengen an Restmonomeren resultieren, welche dann aus dem Taylorreaktor ausgetragen werden müssen. Es kann aber auch zur Koagulation und Ablagerung von Polymerisaten kommen, was u. U. sogar zum Verstopfen des Reaktors oder des Produktauslasses führen kann. Unerwünschte technische Effekte dieser oder ähnlicher Art treten auch bei dem thermischen Abbau hochmolekularer Stoffe wie Polymerisate u. a. auf. Insgesamt können nicht mehr die gewünschten Produkte, wie etwa Polymerisate mit sehr enger Molmassenverteilung, erhalten werden, sondern nur noch solche, die in ihrem Eigenschaftsprofil den Anforderungen nicht entsprechen.

chen.

In der nicht vorveröffentlichten deutschen Patentanmeldung DE-A-198 28 742.9 wird ein Taylorreaktor zur Durchführung von Stoffumwandlungen, der

- a) einer äußeren Reaktorwand (1) und einem hierin befindlichen konzentrisch oder exzentrisch angeordneten Rotor (2), einem Reaktorboden (3) und einem Reaktordeckel (4), welche zusammen das ringspaltförmige Reaktorvolumen (5) definieren,
- b) mindestens einer Vorrichtung (6) zur Zudosierung von Edukten sowie
- c) einer Vorrichtung (7) für den Produktablauf,

wobei

- d) bei der Stoffumwandlung eine Änderung der Viskosität v des Reaktionsmediums eintritt und
- e) die Reaktorwand (1) und/oder der Rotor (2) geometrisch derart gestaltet ist oder sind, daß auf im wesentlichen der gesamten Reaktorlänge im Reaktorvolumen (5) die Bedingungen für die Taylor-Wirbelströmung erfüllt sind;

beschrieben, der die vorstehend genannten Probleme löst.

Werden jedoch Komponenten für das Reaktionsmedium, wie beispielsweise Edukte, Lösemittel, Katalysatoren oder sonstige Zusatzstoffe, verwendet, die Viskositätsunterschiede und/oder unterschiedliche Polaritäten und/oder Affinitäten aufweisen, kann es bei ihrer Durchmischung zu Problemen kommen. So kann die Kapazität des Taylorreaktors nicht mehr ausreichen, miteinander mischbare Komponenten im Reaktorvolumen (5) völlig zu homogenisieren und/oder nicht miteinander mischbare Komponenten im Reaktorvolumen (5) völlig zu emulgieren, zu dispergieren und/oder zu suspendieren, so daß zum einen unumgesetzte Edukte den Reaktor wieder verlassen und zum anderen wegen der uneinheitlich zusammengesetzten Reaktionsmischung innerhalb des Reaktors keine spezifikationsgerechte Produkte resultieren. Insbesondere kann es bei der Copolymerisation olefinisch ungesättigter Monomere zur Bildung unerwünschter hochmolekularer Produkte kommen, die zu Belägen innerhalb der Vorrichtung führen.

Zwar könnte man das Problem der mangelhaften Durchmischung der Komponenten des Reaktionsmediums in manchen Fällen durch eine Verlängerung des Taylorreaktors oder durch ein Hintereinanderschalten mehrerer Taylorreaktoren lösen, indes ist dies unwirtschaftlich und scheitert häufig an den vorgegebenen Dimensionen der gesamten Anlage, in der sich der Taylorreaktor befindet. Außerdem können die Taylorreaktoren nicht beliebig verlängert werden, weil dann der Rotor (2) unter gewissen Umständen in Schwingungen gerät, die den Taylorreaktor insgesamt mechanisch sehr stark belasten, was allein schon aus Gründen der Reaktorsicherheit nicht akzeptabel ist.

Aus der deutschen Patentanmeldung DE-A-198 16 886 ist eine Vorrichtung bekannt, die einen Rohrreaktor und einen Mikromischer umfaßt. Die Edukte, insbesondere copolymerisierbare olefinisch ungesättigte Monomere, werden in dem Mikromischer homogen vermischt. Wesentlich für das bekannte Verfahren ist, daß die Edukte vor dem Eintritt in den Mikromischer so weit vorgewärmt werden, daß sie die erforderliche Reaktionstemperatur sofort nach dem Eintritt in den Mikromischer erreichen und daß die Polymerisation in dem nachgeschalteten Rohrreaktor stattfindet. Der deutschen Patentanmeldung läßt sich nicht entnehmen, ob eine solche Konfiguration auch für einen Taylorreaktor in Betracht kommt, um die vorstehend geschilderten Probleme zu

lösen.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen neuen Taylorreaktor vorzuschlagen, welcher die Nachteile des Standes der Technik nicht mehr länger aufweist, sondern es ermöglicht, die Umwandlung von Stoffen selbst dann einfach, elegant, problemlos und in hohen Ausbeuten durchzuführen, wenn sich die betreffenden Komponenten des Reaktionsmediums, wie beispielsweise Edukte, Lösemittel, Katalysatoren oder sonstige Zusatzstoffe, aufgrund ihrer unterschiedlichen Viskositäten und/oder Polaritäten und/oder Affinitäten nur schlecht oder gar nicht vermischen lassen. Dies soll auch noch dann der Fall sein, wenn sich die Viskosität v des Reaktionsmediums innerhalb des Reaktorvolumens des Taylorreaktors, in Durchflußrichtung gesehen, stark ändert.

Demgemäß wurde der neue Taylorreaktor zur Durchführung von Stoffumwandlungen mit

- a) einer äußeren Reaktorwand (1) und einem hierin befindlichen konzentrisch oder exzentrisch angeordneten Rotor (2), einem Reaktorboden (3) und einem Reaktordeckel (4), welche zusammen das ringspaltförmige Reaktorvolumen (5) definieren,
- b) mindestens einer Vorrichtung (6) zur Zudosierung von Komponenten des Reaktionsmediums,
- c) einer Vorrichtung (7) für den Produktablauf sowie
- d) mindestens einem Mischaggregat (8), das mit mindestens einer Vorrichtung (6) verbunden ist und worin mindestens zwei Komponenten des Reaktionsmediums zusammengeführt und vor ihrem Eintritt in das Reaktorvolumen (5) miteinander vermischt werden;

gefunden.

Im folgenden wird der neue Taylorreaktor zur Durchführung der Stoffumwandlungen der Kürze halber als "erfindungsgemäßer Taylorreaktor" bezeichnet. Dementsprechend wird das neue Verfahren zu Umwandlung von Stoffen unter den Bedingungen der Taylor-Wirbelströmung als "erfindungsgemäßes Verfahren" bezeichnet.

Für den erfindungsgemäßen Taylorreaktor ist es wesentlich, daß mindestens eine seiner Vorrichtungen (6) mit mindestens einem Mischaggregat (8) verbunden ist, in dem mindestens zwei, insbesondere alle, Komponenten des Reaktionsmediums miteinander vermischt und dann über die Vorrichtung (6) dem Reaktorvolumen (5) zugeführt werden.

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung sind unter Komponenten des Reaktionsmediums alle Komponenten zu verstehen, die in einem gegebenen Reaktionsmedium vorliegen, unabhängig davon, ob sie an der eigentlichen Stoffumwandlungen teilnehmen oder nur Hilfsfunktionen übernehmen. Beispiele geeigneter Komponenten sind Edukte, Lösemittel, Katalysatoren, Initiatoren oder sonstige Zusatzstoffe wie Stabilisatoren, Inhibitoren oder Dispergiemittel.

Erfindungsgemäß kann ihre Durchmischung in einem starken Scherfeld erfolgen.

Beispiele geeigneter Mischaggregate (8), die starke Scherfelder liefern, sind solche, die der Herstellung von Makro-, Mini- oder Mikroemulsionen dienen (vgl. Emulsion Polymerization and Emulsion Polymers, Editoren: P. A. Lovell und Mohamed S. El-Aasser, John Wiley and Sons, Chichester, New York, Weinheim, 1997, Seiten 700 und folgende; Mohamed S. El-Aasser, Advances in Emulsion Polymerization and Latex Technology, 30th Annual Short Course, Volume 3, June 7-11, 1999, Emulsion Polymers Institute, Lehigh University, Bethlehem, Pennsylvania, U.S.A.), da diese die notwendigen hohen Scherfelder liefern.

Beispiele gut geeigneter Mischaggregate (8) dieser Art sind die in der deutschen Patentanmeldung DE-A-

198 16 886 im Detail beschriebenen Mikromischer; In-Line-Dissolver (ILD) als geschlossene Maschinen mit Rotor/Stator-Werkzeug in der Art einer Kreiselpumpe mit hoher Scherwirkung mit Mischkammer-Volumina zwischen 0,1 und ca. 20 Litern und Umfangsgeschwindigkeiten der Rotor/Stator-Werkzeuge von ca. 15 bis 70 m/s; Hochdruck-homogenisierungsaggregate; Druckentspannungshomogenisierungsdüsen oder Microfluidizer.

Weitere Beispiele gut geeigneter Vorrichtungen und Verfahren zur Durchmischung der Komponenten und werden in den Patentschriften DE-A-196 28 142, Seite 5, Zeilen 1 bis 30, DE-A-196 28 143, Seite 7, Zeilen 30 bis 58, oder EP-A-0 401 565, Zeilen 27 bis 51, beschrieben.

Erfindungsgemäß kann die Durchmischung auch im Bereich vergleichsweise geringer Scherkräfte erfolgen.

Beispiele geeigneter Mischaggregate (8), in denen die Durchmischung im Bereich vergleichsweise geringe Scherkräfte erfolgt, sind statische Mischer wie Sulzer-Mischer, Kenics-Mischer oder Füllkörperkolonnen oder dynamische Mischer wie kleinen volumige Durchflußrührkessel oder gerührte Mischkammern.

Die Auswahl eines Mischaggregats (8), das für eine gegebene Stoffumwandlung am besten geeignet ist, kann der Fachmann anhand der bekannten Eigenschaften der zu vermischenden Komponenten des Reaktionsmediums und/oder anhand der Mischufgabe (Homogenisieren, Dispergieren, Emulgieren, Suspendieren) treffen.

Das Mischaggregat (8) wird über Zuleitungsrohre, die übliche und bekannte Dosiereinrichtungen und Meß- und Regelvorrichtungen sowie gegebenenfalls Wärmeaustauscher aufweisen, mit den Vorratsbehältern für die Edukte verbunden. Beispielfhaft sei hier auf die Fig. 1 der deutschen Patentanmeldungen DE-A-198 16 866 sowie die hierzu gehörigen Erläuterungen verwiesen.

Das Reaktionsvolumen (5) des erfindungsgemäßen Taylorreaktors, in das die Edukte nach ihrer Durchmischung eintreten, ist aufgrund der Geometrie des Innen- und Außenzylinders streng zylinderförmig, wie sie beispielsweise in dem eingangs gewürdigten Stand der Technik beschrieben wird.

Bei dem erfindungsgemäßen Taylorreaktor ist die äußere Reaktorwand (1) stationär, wogegen der Rotor (2) sich dreht. In einer weiteren Variante rotieren die äußere Reaktorwand (1) und der Rotor (2) in die gleiche Richtung, wobei die Winkelgeschwindigkeit des Rotors (2) größer ist als die Winkelgeschwindigkeit der äußeren Reaktorwand (1). In einer weiteren Variante rotieren die äußere Reaktorwand (1) und der Rotor (2) in entgegengesetzter Richtung. Demnach handelt es sich bei der Variante mit der stationären äußeren Reaktorwand (1) um einen Sonderfall der zweiten und dritten Variante, welche indes aufgrund des einfachen Aufbaus und der erheblich einfacheren verfahrenstechnischen Kontrolle bevorzugt ist.

Die äußere Reaktorwand (1) und der Rotor (2) weisen über die gesamte Reaktorlänge hinweg – im Querschnitt gesehen – einen im wesentlichen kreisförmigen Umfang auf. Im Sinne der vorliegenden Erfindung ist unter dem Begriff "im wesentlichen kreisförmig" kreisförmig, oval, elliptisch oder dreieckig, rechteckig, quadratisch, fünfeckig, sechseckig oder mehreckig mit abgerundeten Ecken zu verstehen. Aus Gründen der einfacheren Herstellbarkeit, des einfachen Aufbaus und der bedeutend einfacheren Aufrechterhaltung konstanter Bedingungen über die gesamte Reaktorlänge hinweg ist ein kreisförmiger Umfang von Vorteil.

Erfindungsgemäß ist die Innenwand der äußeren Reaktorwand (1) und/oder die Oberfläche des Rotors (2) glatt oder rau, d. h., die betreffenden Flächen haben eine geringe oder hohe Oberflächenrauigkeit. Zusätzlich oder alternativ

hierzu weist die Innenwand der äußeren Reaktorwand (1) und/oder die Oberfläche des Rotors (2) ein reliefartiges radiales und/oder axiales, vorzugsweise radiales, Oberflächenprofil auf. Ist ein radiales Oberflächenprofil vorhanden, ist es vorteilhafterweise in etwa oder genau so dimensioniert wie die Taylor-Wirbelringe.

Erfindungsgemäß ist es von bevorzugt, wenn die Innenwand der äußeren Reaktorwand (1) und die Oberfläche des Rotors (2) glatt sind, um tote Winkel, in denen sich Gasblasen oder Edukte und Produkte absetzen könnten, zu vermeiden.

Der erfindungsgemäße Taylorreaktor ist – in Längsrichtung gesehen – vertikal, horizontal oder in einer Lage zwischen diesen beiden Richtungen gelagert. Erfindungsgemäß von Vorteil ist die vertikale Lagerung. Wenn der erfindungsgemäße Taylorreaktor nicht horizontal gelagert ist, kann ihn das Reaktionsmedium entgegen der Schwerkraft von unten nach oben oder mit der Schwerkraft von oben nach unten durchströmen. Erfindungsgemäß ist es von Vorteil, wenn das Reaktionsmedium entgegen der Schwerkraft bewegt wird.

Der Rotor (2) des erfindungsgemäßen Taylorreaktors ist zentrisch oder exzentrisch gelagert. D. h., seine Längsachse stimmt mit der Längsachse der äußeren Reaktorwand (1) überein (zentrisch) oder nicht (exzentrisch). In letzterem Fall kann die Längsachse des Rotors (2) parallel zur Längsachse der äußeren Reaktorwand (1) liegen oder hiergegen in einem spitzen Winkel geneigt sein. Erfindungsgemäß ist es von Vorteil, wenn der Rotor (2) zentrisch gelagert ist.

Der erfindungsgemäße Taylorreaktor enthält als weitere wesentlichen Bestandteile einen Reaktorboden (3) und einen Reaktordeckel (4), welche zusammen mit der äußeren Reaktorwand (1) und dem Rotor (2) das ringspaltförmige Reaktorvolumen (5) definieren und es druck- und gasdicht nach außen abschließen. Geeignete Reaktorböden (3) und Reaktordeckel (4) sind üblich und bekannt; beispielsweise auf die Patentschriften DE-B-10 71 241 und EP-A-0 498 583 verwiesen.

Desweiteren enthält der erfindungsgemäße Taylorreaktor als weiteren wesentlichen Bestandteil mindestens eine übliche und bekannte Vorrichtung (6) zur Zudosierung von Edukten. Ein Beispiel einer geeigneten Vorrichtung (6) ist eine Düse mit geeignetem Querschnitt. Die Vorrichtung (6) kann in den Reaktorboden (3), den Reaktordeckel (4), die äußere Reaktorwand (1) oder den Rotor (2) eingelassen sein. Darüber hinaus kann der erfindungsgemäße Taylorreaktor noch mindestens eine weitere Vorrichtung (6) enthalten, welche in gleicher Höhe wie die erste oder in Durchflußrichtung versetzt von dieser angeordnet ist. Eine solche weitere Vorrichtung (6) ist insbesondere dann von Vorteil, wenn Edukte und/oder Katalysatoren nachdosiert werden sollen. Erfindungsgemäß ist es von Vorteil, wenn mindestens eine der weiteren Vorrichtungen (6), vorzugsweise alle, mit einem erfindungsgemäß zu verwendenden Mischaggregat (8) verbunden sind.

Ein weiterer wesentlicher Bestandteil des erfindungsgemäßen Taylorreaktors ist die Vorrichtung (7) für den Ablauf der Produkte. Je nach dem ist die Vorrichtung (7) in den Reaktorboden (3), die äußere Reaktorwand (1) oder in den Reaktordeckel (4) eingelassen. Auch sie ist üblicherweise über geeignete Zuleitungen mit Dosierpumpen, Vorratsgefäßen u. a. verbunden. Erfindungsgemäß ist es von besonderem Vorteil, die Vorrichtung (7) am oberen Ende des erfindungsgemäßen Taylorreaktors anzubringen, wobei die höchste Stelle besonders bevorzugt ist, weil bei dieser Konfiguration die Bildung einer Gasphase vermieden wird. Dies ist insbesondere dann notwendig, wenn die Gefahr der Bildung explosionsfähiger Gemische oder der Abscheidung von Fest-

stoffen wie Polymerisaten aus der Gasphase besteht.

Die Bestandteile des erfindungsgemäßen Taylorreaktors, insbesondere äußere Reaktorwand (1), der Rotor (2), der Reaktorboden (3), der Reaktordeckel (4), die Vorrichtung (6) zur Zudosierung von Edukten sowie die Vorrichtung (7) für den Produktablauf, können aus den unterschiedlichsten geeigneten Materialien bestehen. Beispiel geeigneter Materialien sind Kunststoff, Glas oder Metalle wie Edelstahl, Nickel oder Kupfer. Hierbei können die einzelnen Bestandteile aus jeweils unterschiedlichen Materialien hergestellt sein. Die Auswahl der Materialien richtet sich nach dem Verwendungszweck des erfindungsgemäßen Taylorreaktors und nach den einzelnen Reaktionsbedingungen und kann deshalb vom Fachmann in einfacher Weise vorgenommen werden. Soll beispielsweise der erfindungsgemäße Taylorreaktor als Photoreaktor verwendet werden, kann der Rotor (2) aus Glas bestehen, welches für aktinisches Licht durchlässig ist. Wenn bei den Stoffumwandlungen die Taylor-Wirbelringe und ihre axiale Bewegung visuell überwacht werden sollen, ist es erfindungsgemäß von Vorteil, die äußere Reaktorwand (1) aus Glas oder transparentem Kunststoff anzufertigen. Erfindungsgemäße Taylorreaktoren dieser Art eignen sich auch hervorragend für die Durchführung von Vorversuchen. Ansonsten ist es erfindungsgemäß von Vorteil, Edelstahl zu verwenden.

Der Rotor (2) ist in üblicher und bekannter Weise beispielsweise über eine Magnetkupplung oder einem mechanischen Getriebe mit einem stufenlos regelbaren Antrieb verbunden.

Außer den vorstehend in Detail beschriebenen wesentlichen Bestandteilen kann der erfindungsgemäße Taylorreaktor noch übliche und bekannte Vorrichtung enthalten, welche dem Heizen und/oder Kühlen oder dem Messen von Druck, Temperatur, Stoffkonzentrationen, Viskosität und anderen physikalisch chemischen Größen dienen, sowie mit üblichen und bekannten mechanischen, hydraulischen und/oder elektronischen Meß- und Regelvorrichtungen verbunden sein.

Alle diese Bestandteile des erfindungsgemäßen Taylorreaktors sind so miteinander verbunden, daß das Reaktionsmedium druck- und gasdicht eingeschlossen und in geeigneter Weise temperiert wird. Vorteilhafterweise erfolgt die Temperierung in einer oder in mehreren Temperaturzonen, die im Gleich- oder im Gegenstrom betrieben werden.

Erfindungsgemäß ist es von Vorteil, wenn die Geometrie des vorstehend beschriebenen Innen- und Außenzylinders einer sich ändernden Viskosität v des Reaktionsmediums Rechnung trägt.

Bei der Änderung der Viskosität v des Reaktionsmediums kann es sich um einen Anstieg oder einen Abfall handeln. Beide Änderungen können im Einzelfall mehrere Zehnerpotenzen betragen. Ein solch hoher Anstieg der Viskosität v tritt beispielsweise bei der Polymerisation in Masse oder in Lösung ein. Umgekehrt resultiert ein solch hoher Abfall der Viskosität v bei der Depolymerisation. Doch selbst unter diesen verfahrenstechnisch besonders anspruchsvollen Bedingungen bleibt im erfindungsgemäßen Taylorreaktor die Taylor-Wirbelströmung erhalten.

Wird der erfindungsgemäße Taylorreaktor für das erfindungsgemäße Verfahren verwendet, bei welchem die Viskosität v des Reaktionsmediums in Durchflußrichtung stark ansteigt, werden die äußere Reaktorwand (1) und/oder der Rotor (2) geometrisch derart gestaltet, daß sich der Ringspalt in Durchflußrichtung verbreitert.

Erfindungsgemäß kann sich hierbei der Ringspalt – im Längsschnitt durch den erfindungsgemäßen Taylorreaktor gesehen – nach beliebigen geeigneten mathematischen Funktionen kontinuierlich oder diskontinuierlich verbreitern.

Das Ausmaß der Verbreiterung richtet sich nach dem erwarteten Anstieg der Viskosität des Reaktionsmediums in Durchflußrichtung und kann vom Fachmann anhand der Taylorformel abgeschätzt und/oder anhand einfacher Vorversuche ermittelt werden.

Beispiele geeigneter mathematischer Funktionen, nach denen sich – im Längsschnitt durch den erfindungsgemäßen Taylorreaktor gesehen – der Umfang der äußeren Reaktorwand (1) und/oder des Rotors (2) erhöht oder erhöhen, sind Geraden, mindestens zwei Geraden, die unter einem stumpfen Winkel aufeinander stoßen, Hyperbeln, Parabeln, e-Funktionen oder Kombinationen dieser Funktionen, welche kontinuierlich oder diskontinuierlich ineinander übergehen.

Zum einen kann die Verbreiterung dadurch erreicht werden, daß sich der Umfang der äußeren Reaktorwand (1) in Durchflußrichtung gesehen erhöht, wobei der Umfang des Rotors (2) konstant bleibt, sich ebenfalls erhöht oder sich verringert. Zum anderen kann dies erreicht werden, indem der Durchmesser der äußeren Reaktorwand (1) konstant gehalten wird, wogegen sich der Umfang des Rotors (2) verringert. Im Hinblick darauf, daß bei der Verringerung des Umfangs des Rotors (2) die Fläche zur Übertragung der Reibungskräfte immer geringer wird und sich der Rotor (2) deshalb immer schneller drehen müßte, wird den erfindungsgemäßen Varianten der Vorzug gegeben, bei denen der Umfang des Rotors (2) konstant bleibt oder sich ebenfalls erhöht.

Vorteilhafte erfindungsgemäße Taylorreaktoren weisen eine konische äußere Reaktorwand (1) auf, die demnach die Form eines einzelnen Kegelstumpfs hat oder aus mehreren Kegelstümpfen zusammengesetzt ist. Der Kegelstumpf oder die Kegelstümpfe kann oder können dabei kissenförmig oder tonnenförmig verzerrt sein. Indes werden unverzerrte Kegelstümpfe besonders bevorzugt.

Vorteilhafte erfindungsgemäße Taylorreaktoren weisen außerdem einen konischen oder zylinderförmigen Rotor (2) auf. Hinsichtlich der Form des konischen Rotors (2) gilt das im vorstehenden Absatz Gesagte sinngemäß. Desgleichen kann der zylinderförmige Rotor (2) kissenförmig oder tonnenförmig verzerrt sein. Erfindungsgemäß werden unverzerrte zylinderförmige Rotoren (2) besonders bevorzugt verwendet.

Wird der erfindungsgemäße Taylorreaktor für das erfindungsgemäße Verfahren verwendet, bei welchem die Viskosität v des Reaktionsmediums in Durchflußrichtung stark abfällt, werden die äußere Reaktorwand (1) und/oder der Rotor (2) geometrisch derart gestaltet, daß sich der Ringspalt in Durchflußrichtung verengt.

Erfindungsgemäß kann sich hierbei der Ringspalt – im Längsschnitt durch den erfindungsgemäßen Taylorreaktor gesehen – nach beliebigen geeigneten mathematischen Funktionen kontinuierlich oder diskontinuierlich verengen. Das Ausmaß der Verengung richtet sich nach dem erwarteten Abfall der Viskosität des Reaktionsmediums in Durchflußrichtung und kann vom Fachmann anhand der Taylorformel (1) abgeschätzt und/oder anhand einfacher Vorversuche ermittelt werden.

Beispiele geeigneter mathematischer Funktionen, nach denen sich – im Längsschnitt durch den erfindungsgemäßen Taylorreaktor gesehen – der Umfang der äußeren Reaktorwand (1) und/oder des Rotors (2) verringert oder verringern, sind Geraden, mindestens zwei Geraden, die unter einem stumpfen Winkel aufeinander stoßen, Hyperbeln, Parabeln, e-Funktionen oder Kombinationen dieser Funktionen, welche kontinuierlich oder diskontinuierlich ineinander übergehen.

Zum einen kann die Verengung dadurch erreicht werden, daß sich der Umfang der äußeren Reaktorwand (1) in

Durchflußrichtung gesehen verringert, wobei der Umfang des Rotors (2) konstant bleibt, sich erhöht oder sich ebenfalls verringert. Zum anderen kann dies erreicht werden, indem der Durchmesser der äußeren Reaktorwand (1) konstant gehalten wird, wogegen sich der Umfang des Rotors (2) erhöht. Im Hinblick darauf, daß bei der Verringerung des Umfangs des Rotors (2) die Fläche zur Übertragung der Reibungskräfte immer geringer wird und sich der Rotor (2) deshalb immer schneller drehen müßte, wird den erfindungsgemäßen Varianten der Vorzug gegeben, bei denen der Umfang des Rotors (2) konstant bleibt oder sich ebenfalls erhöht.

Vorteilhafte erfindungsgemäße Taylorreaktoren weisen auch hier eine konische äußere Reaktorwand (1) auf, die demnach die Form eines einzelnen Kegelstumpfs hat oder aus mehreren Kegelstümpfen zusammengesetzt ist. Der Kegelstumpf oder die Kegelstümpfe kann oder können dabei kissenförmig oder tonnenförmig verzerrt sein. Indes werden unverzerrte Kegelstümpfe besonders bevorzugt.

Vorteilhafte erfindungsgemäße Taylorreaktor weisen außerdem einen konischen oder zylinderförmigen Rotor (2) auf. Hinsichtlich der Form des konischen Rotors (2) gilt das im vorstehenden Absatz Gesagte sinngemäß. Desgleichen kann der zylinderförmige Rotor (2) kissenförmig oder tonnenförmig verzerrt sein. Erfindungsgemäß werden unverzerrte zylinderförmige Rotoren (2) besonders bevorzugt verwendet.

Der erfindungsgemäße Taylorreaktor ist vorzüglich für die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignet. Das erfindungsgemäße Verfahren kann kontinuierlich oder diskontinuierlich betrieben werden; seine besonderen Vorteile werden indes beim kontinuierlichen Betrieb offenbar.

Zu seiner Durchführung werden mindestens zwei Komponenten des Reaktionsmediums, insbesondere mindestens zwei Edukte, nach ihrer erfindungsgemäßen Durchmischung in der Mischaggregat (8) über mindestens eine Vorrichtung (6) dem ringspaltförmigen Reaktorvolumen (5) kontinuierlich zudosiert. Die resultierenden Produkte werden kontinuierlich über die Vorrichtung (7) aus dem erfindungsgemäßen Taylorreaktor abgeführt und in geeigneter Weise aufgearbeitet.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren liegt die Verweilzeit im Reaktor zwischen 0,5 Minuten und 5 Stunden, vorzugsweise 2 Minuten und 3 Stunden, besonders bevorzugt 10 Minuten und 2 Stunden und insbesondere 15 Minuten und 1,5 Stunden. Die für die jeweilige Stoffumwandlung geeignete Verweilzeit kann der Fachmann anhand einfacher Vorversuche ermitteln oder anhand von kinetischen Daten abschätzen.

Der Druck im ringspaltförmigen Reaktorvolumen (5) liegt bei 0 bis 200 bar, weswegen das erfindungsgemäße Verfahren auch mit verflüssigten oder überkritischen Gasen, wie überkritisches Kohlendioxid ausgeführt werden kann. Vorzugsweise liegt der Druck bei 0,5 bis 100, insbesondere 0,5 bis 50 bar. Wird das erfindungsgemäße Verfahren bei höherem Druck durchgeführt, ist der erfindungsgemäße Taylorreaktor mit Zuleitungen und Ableitungen druckdicht auszulagen, um den Sicherheitsvorschriften genüge tun.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird bei Temperaturen zwischen -100 und 500°C durchgeführt. Zu diesem Zweck wird der erfindungsgemäße Taylorreaktor mit geeigneten üblichen und bekannten Kühl- und/oder Heizvorrichtungen ausgerüstet. Vorzugsweise liegen die Reaktionstemperaturen zwischen -10 und 300°C, insbesondere 50 und 250°C.

Um das Reaktorvolumen (5) des erfindungsgemäßen Taylorreaktors besonders effizient zu nutzen, können die Edukte vor, während oder nach ihrer Durchmischung auf

oder nahezu auf Reaktionstemperatur gebracht werden. Beispiele geeigneter Vorrichtungen zu Erwärmen der Komponenten des Reaktionsmediums, insbesondere der Edukte, sind Wärmeaustauscher.

Die für die jeweilige Stoffumwandlung geeignete Temperatur kann der Fachmann anhand einfacher Vorversuche ermitteln oder anhand bekannter thermodynamischer Daten abschätzen.

Vorteilhafterweise liegt die Taylorzahl Ta des Reaktionsmediums oder des Fluids bei 1 bis 10000, vorzugsweise 5 bis 5000 und insbesondere 10 bis 2500. Hierbei soll Reynoldszahl, die durch die nachfolgende Gleichung (11) definiert ist, bei 1 bis 10000 betragen.

$$Re = vd/v \quad (II)$$

mit v = axiale Geschwindigkeit und
mit $d = r_a - r_i$ (r_i = äußerer Radius des Innenzylinders; r_a = innerer Radius des Außenzylinders und d = Spaltbreite).

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren ändert sich die Viskosität v des Reaktionsmediums. Hierbei kann die Viskosität v steigen oder sinken. Die Änderung kann mehrere Zehnerpotenzen betragen, ohne daß dies die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens stört. Es ist lediglich dafür Sorge zu tragen, daß sich der Ringspalt des erfindungsgemäßen Taylorreaktors in der Weise verbreitert oder verengt, wie es der Änderung der Viskosität im Verlauf der Stoffumwandlungen entspricht, so daß die Taylor-Wirbelströmung im gesamten Reaktor erhalten bleibt. Den Verlauf der Viskositätsänderung kann der Fachmann anhand einfacher Vorversuche ermitteln.

Ein ganz besonderer Vorteil des erfindungsgemäßen Taylorreaktors und des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es, das örtliche Nacheinander im Taylorreaktor mit dem zeitlichen Nacheinander von diskontinuierlichen oder halbkontinuierlichen (Dosier-) Prozessen zu verknüpfen. Der erfindungsgemäße Taylorreaktor und das erfindungsgemäße Verfahren bieten somit den Vorteil eines kontinuierlichen quasi "einstufigen" Prozesses, so daß in dem zuerst durchströmten Teilstück des Taylorreaktors eine erste Reaktion ablaufen kann und in einem - in axialer Durchflußrichtung gesehen - zweiten oder weiteren Teilstück nach einer weiteren Vorrichtung (6) und einem weiteren erfindungsgemäß zu verwendenden Mischaggregat (8) zur Zudosierung von Edukten und/oder Katalysatoren eine zweite, dritte, etc. Reaktion.

Beispiele für Stoffumwandlungen, auf die das erfindungsgemäße Verfahren mit besonderem Vorteil angewandt werden kann, sind insbesondere der Aufbau oder Abbau niedermolekularer und hochmolekularer Stoffe, wie z. B. die Polymerisation von Monomeren in Masse, Lösung, Emulsion oder Suspension oder durch Fällungspolymerisation einerseits und die Depolymerisation der hierbei resultierenden Polymerisate oder anderer hochmolekularer Stoffe andererseits. Im Rahmen der vorliegenden Erfindungen ist unter dem Begriff "Polymerisation" auch die Copolymerisation und die Blockmischpolymerisation sowie die Polykondensation und die Polyaddition zu verstehen.

Weitere Beispiele für solche Stoffumwandlungen sind

- polymeranaloge Reaktionen, wie die Veresterung, Amidierung oder Urethanisierung von Polymeren, welche Seitengruppen enthalten, die für solche Reaktionen geeignet sind,
- die Herstellung olefinisch ungesättigter, mit Elektronenstrahlen oder ultraviolettem Licht härtbaren Materialien,
- die Herstellung von Polyurethanharzen und modifizierten Polyurethanharzen wie acylierten Polyure-

thanen,

- die Herstellung von (Poly) Harnstoffen oder modifizierten (Poly) Harnstoffen, der Molekulargewichtsaufbau von Verbindungen, welche mit Isocyanatgruppen terminiert sind,
- oder Reaktionen, welche zur Bildung von Mesophasen führen, wie sie beispielsweise von Antonietti und Göltner in dem Artikel "Überstruktur funktioneller Kolloide: eine Chemie im Nanometerbereich" in Angewandte Chemie, Band 109, 1997, Seiten 944 bis 964, oder von über und Wengner in dem Artikel "Polyelectrolyte-Surfactant Complexes in the Solid State: Facile Building Blocks for Self-Organizing Materials" in Advanced Materials, Band 9, Heft 1, 1997, Seiten 17 bis 31, beschrieben werden.

Mit ganz besonderem Vorteil wird das erfindungsgemäße Verfahren für die Polymerisation von olefinisch ungesättigten Monomeren angewandt, weil hierbei die besonderen Vorteile des erfindungsgemäßen Taylorreaktors und es erfindungsgemäßen Verfahrens besonders offen zu Tage treten.

So wird das erfindungsgemäße Verfahren besonders bevorzugt für die Herstellung von chemische einheitlich zusammengesetzten Copolymerisaten verwendet. Hierbei wird das schneller polymerisierende Comonomere oder werden die schneller polymerisierenden Comonomeren über in axialer Richtung hintereinander angeordnete Vorrichtungen (6) zudosiert, so daß das Comonomerenverhältnis über die gesamte Länge des Reaktors hinweg konstant gehalten wird.

Auch für die Pfropfmischpolymerisation wird das erfindungsgemäßen Verfahren besonders bevorzugt verwendet. Hierbei wird in dem ersten Teilstück des erfindungsgemäßen Taylorreaktors das sogenannte Backbone-Polymerisat hergestellt, wonach über mindestens eine weitere, in axialer Richtung versetzte Vorrichtung (6) gegebenenfalls mit Mischaggregat (8) mindestens zwei Comonomere, welches die Pfropfäste bildet, zudosiert wird. Das Comonomer wird oder die Comonomeren werden dann in erfindungsgemäßer Verfahrensweise in mindestens einem weiteren Teilstück des erfindungsgemäßen Taylorreaktor auf das Backbone-Polymerisat aufgepfropft. Sofern mehrere Comonomere verwendet werden, können sie einzeln über jeweils eine Vorrichtung (6) oder als Gemisch durch eine oder mehrere Vorrichtungen (6) mit Mischaggregat (8) zudosiert werden. Werden mindestens zwei Comonomere einzelnen und nacheinander durch mindestens zwei Vorrichtungen (6) zudosiert, gelingt sogar die Herstellung von Pfropfästen, welche für sich selbst gesehen Blockmischpolymerisate sind, in besonders einfacher und eleganter Weise.

Selbstverständlich kann dieses vorstehend beschriebene Konzept auch der Herstellung von Blockmischpolymerisaten als solchen dienen.

In analoger Weise kann mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens die Herstellung von Kern-Schale-Latex besonders einfach und elegant verwirklicht werden. So wird zunächst im ersten Teilstück des erfindungsgemäßen Taylorreaktors der Kern durch Copolymerisation hergestellt. Über mindestens eine weitere Vorrichtung (6) wird mindestens ein weiteres Comonomer zudosiert und die Schale in mindestens einem weiteren Teilstück auf den Kern aufpolymerisiert. In dieser Weise können mehrere Schalen auf den Kern aufgebracht werden.

Auch die Herstellung von Polymerdispersionen kann mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgen. Beispielsweise wird mindestens ein Monomer in homogener Phase, insbesondere in Lösung, in einem ersten Teilstück des erfindungsgemäßen Taylorreaktors copolymerisiert, wo-

nach über mindestens eine weitere Vorrichtung (6) ein Fällungsmittel zudosiert wird, wodurch die Polymerdispersionen resultiert.

Bei allen Anwendungen weist der erfindungsgemäße Taylorreaktor den besonderen Vorteil einer großen spezifischen Kühlfläche auf, die eine besonders sichere Reaktionsführung gestattet.

Beispiele geeigneter Monomeren, welche für das erfindungsgemäße Verfahren in Betracht kommen, sind acyclische und cyclische, gegebenenfalls funktionalisierte Monoolefine und Diolefine, vinylaromatische Verbindungen, Vinyl ether, Vinylester, Vinylamide, Vinylhalogenide, Allyl ether und Allylester, Acrylsäure, und Methacrylsäure und deren Ester, Amide und Nitrile und Maleinsäure, Fumarsäure und Itaconsäure und deren Ester, Amide, Imide und Anhydride.

Beispiele geeigneter Monoolefine sind Ethylen, Propylen, 1-Buten, 1-Penten, 1-Hexen, 1-Hepten, 1-Octen, Cyclobuten, Cyclopenten und Cyclohexen.

Beispiel geeigneter Diolefine sind Butadien, Isopren, Cyclopentadien und Cyclohexadien.

Beispiele geeigneter vinylaromatischer Verbindungen sind Styrol, alpha-Methylstyrol, 2-, 3- und 4-Chlor-, Methyl-, Ethyl-, Propyl- und Butyl- und tert.-Butylstyrol und -alpha-methylstyrol oder Diphenylethylen.

Ein Beispiel einer geeigneten Vinylverbindung bzw. eines funktionalisierten Olefins ist Vinylcyclohexandiol.

Beispiele geeigneter Vinylether sind Methyl-, Ethyl-, Propyl-, Butyl- und Pentylvinylether, Allylmonopropoxylat sowie Trimethylolpropan-mono-, di- und -trialylether.

Beispiel geeigneter Vinylester sind Vinylacetat und -propionat sowie die Vinylester der Versäure und anderer quaritärer Säuren.

Beispiele geeigneter Vinylamide sind N-Methyl-, N,N-Dimethyl-, N-Ethyl-, N-Propyl-, N-Butyl-, N-Amyl-, N-Cyclopentyl- und N-Cyclohexylvinylamid sowie N-Vinylpyrrolidon und -epsilon-caprolactam.

Beispiele geeigneter Vinylhalogenide sind Vinylfluorid und -chlorid.

Beispiele geeigneter Vinylidenhalogenide sind Vinylidenfluorid und -chlorid.

Beispiele geeigneter Allyl ether sind Methyl-, Ethyl-, Propyl-, Butyl-, Pentyl-, Phenyl- und Glycidylmonoallyl ether.

Beispiele geeigneter Allylester sind Allylacetat und -propionat.

Beispiele geeigneter Ester der Acrylsäure und Methacrylsäure sind Methyl-, Ethyl-, Propyl-, n-Butyl-, Isobutyl-, n-Pentyl-, n-Hexyl-, 2-Ethylhexyl-, Isodecyl-, Decyl-, Cyclohexyl-, t-Butylcyclohexyl-, Norbornyl-, Isobornyl-, 2- und 3-Hydroxypropyl-, 4-Hydroxybutyl-, Trimethylolpropan-mono-, Pentaerythritmono- und Glycidyl(meth)acrylat. Außerdem kommen noch die Di-, Tri- und Tetra-(meth)acrylate von Ethylenglykol, Di-, Tri- und Tetraethylenglykol, Propylenglykol, Dipropylenglykol, Butylenglykol, Dibutylenglykol, Glycerin, Trimethylolpropan und Pentaerythrit in Betracht. Allerdings werden sie nicht alleine, sondern immer in untergeordneten Mengen gemeinsam mit den monofunktionalen Monomeren verwendet.

Beispiele geeigneter Amide der Acrylsäure Methacrylsäure sind (Meth)Acrylsäureamid sowie (Meth)Acrylsäure-N-methyl-, -N,N-dimethyl-, -N-ethyl-, -N-propyl-, -N-butyl-, -N-amyl-, -N-cyclopentyl- und -N-cyclohexylamid.

Beispiele geeigneter Nitrile sind Acrylnitril und Methacrylnitril.

Beispiele geeigneter Ester, Amide, Imide und Anhydride der Maleinsäure, Fumarsäure und Itaconsäure sind Maleinsäure-, Fumarsäure- und Itaconsäuredimethyl-, -diethyl-, -dipropyl- und -dibutylester, Maleinsäure-, Fumarsäure- und

Itaconsäurediamid, Maleinsäure-, Fumarsäure- und Itaconsäure-N,N'-dimethyl-, -N,N,N',N'-tetramethyl-, -N,N'-diethyl-, -N,N'-dipropyl-, -N,N'-dibutyl-, -N,N'-diamyl-, -N,N'-dicyclopentyl- und -N,N'-dicyclohexyldiamid, Maleinsäure-, Fumarsäure- und Itaconsäureimid und Maleinsäure-, Fumarsäure- und Itaconsäure-N-methyl-, -N-ethyl-, -N-propyl-, -N-butyl-, -N-amyl-, -N-cyclopentyl- und -N-cyclohexylimid sowie Maleinsäure-, Fumarsäure- und Itaconsäureanhydrid.

Die vorstehend beschriebenen Monomeren können radikalisch, kationisch oder anionisch polymerisiert werden. Vorteilhafterweise werden sie radikalisch polymerisiert. Hierzu können die üblichen und bekannten anorganischen Radikalstarter wie Wasserstoffperoxid oder Kaliumperoxydisulfat oder die üblichen und bekannten organischen Radikalstarter wie Dialkylperoxide, z. B. Di-tert.-Butylperoxid, Di-tert.-amylperoxid und Dicumylperoxid; Hydroperoxide, z. B. Cumolhydroperoxid und tert.-Butylhydroperoxid; Perester, z. B. tert.-Butylperbenzoat, tert.-Butylperpivalat, tert.-Butylper-3,5,5-trimethylhexanoat und ten.-Butylper-2-ethylhexanoat; Bisazoverbindungen wie Azobisisobutyronitril; oder C-C-Starter wie 2,3-Dimethyl-2,3-diphenylbutan oder -hexan verwendet werden. Es kommt indes auch Styrol in Betracht, das Polymerisation auch ohne Radikalstarter thermisch initiiert.

Die in erfindungsgemäßer Verfahrensweise hergestellten Polymerisate weisen besondere Vorteile auf und eignen sich deshalb hervorragend für alle Anwendungszwecke, wie sie üblicherweise für solche hochmolekularen Stoffe vorgesehen sind, wie beispielsweise die Herstellung von Formteilen oder Folien. Vor allem aber kommen sie als Komponenten für Beschichtungsmasse, insbesondere Lacke, Klebstoffe und Dichtungsmassen in Betracht. Hierbei werden sie insbesondere als Bindemittel verwendet, weil die Beschichtungsmasse, die Klebstoffe und die Dichtungsmassen, welche die in erfindungsgemäßer Verfahrensweise hergestellten Bindemittel enthalten oder hieraus bestehen, besonders vorzügliche anwendungstechnische Eigenschaften aufweisen und hervorragende Beschichtungen, Klebschichten und Dichtungen liefern.

Die besonderen Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens werden vor allem anhand der Lacke offenbar, welche die in erfindungsgemäßer Verfahrensweise hergestellten Bindemittel enthalten. Diese Lacke sind je nach ihrer Zusammensetzung physikalisch trocknend oder werden thermisch, mit aktinischer Strahlung, insbesondere UV-Licht, oder durch Korpuskularstrahlung, insbesondere Elektronenstrahlung, gehärtet. Des weiteren können sie auch thermisch und mit aktinischer Strahlung gehärtet werden, was von der Fachwelt auch als Dual Cure bezeichnet wird.

Sie liegen als Pulverlacke, Pulverslurry-Lacke, lösemitel- und wasserfreie flüssige Lacke (100%-Systeme), in organischen Medien gelöste Lacke oder wäßrige Lacke vor. Hierbei können sie Farb- und/oder Effektpigmente enthalten. Sie werden als Bautenanstichmittel für den Innen- und Außenbereich, als Lacke für Möbel, Fenster, Coils, Container Coatings, die Beschichtung von elektrotechnischen Bauteilen und andere industrielle Anwendungen, als Automobillacke für die Erstausrüstung (OEM) oder als Autoreparaturlacke verwendet. Bei ihrer Verwendung auf dem Automobilsektor kommen sie als Elektrotauchlacke, Füller, Basislacke und Klarlacke in Betracht.

Bei all diesen Anwendungszwecken sind die Lacke, welche die in erfindungsgemäßer Verfahrensweise hergestellten Bindemittel enthalten, den herkömmlichen Lacken überlegen.

Die vorliegende Erfindung wird anhand der Zeichnung (Fig. 1) näher erläutert.

Fig. 1 Längsschnitt durch einen erfindungsgemäßen Taylorreaktor mit konischer äußerer Reaktorwand (1) zur visuellen Überwachung der Taylor-Wirbelströmung

Der Taylorreaktor wies eine 25 cm hohe äußere Reaktorwand (1) aus Glas von streng kreisförmigem Umfang auf, deren Umfang bzw. deren Durchmesser entlang der Reaktorachse in Durchflußrichtung gesehen linear zunahm. So lag minimale Durchmesser der äußeren Reaktorwand (1) am Reaktorboden (3) bei 52 mm, und der maximale Durchmesser am Reaktordeckel (4) lag bei 102 mm. Desweiteren enthielt der erfindungsgemäße Taylorreaktor einen geraden, zentrisch gelagerten, streng zylinderförmigen Rotor (2) aus Edelstahl mit einem Radius von 21 mm. Dadurch erhöhte sich die Spaltbreite d von 5 mm am unteren Ende des Taylorreaktors auf 30 mm am oberen Ende. Der Rotor (2) war über eine gerade Welle (2.1), welche abgedichtet durch den Reaktordeckel (4) hindurchführte, mit einem stufenlos regelbaren Rührmotor verbunden. Der Reaktordeckel (4) und der Reaktorboden (3) bestanden aus Edelstahl; die Dichtung zwischen ihnen und dem entsprechenden Ende der Reaktorwand (1) erfolgte mittels üblichen und bekannten Dichtungsringe aus Kunststoff. Die Vorrichtung (6) zur Zudosierung der Komponenten des Reaktionsmediums und die Vorrichtung (7) für den Produktablauf waren Vorstöße aus Glas mit Gewinden, woran ein Zu- und ein Ableitungsschlauch mit Hilfe von Überwurfmuttern befestigt waren.

Erfindungsgemäß war die Vorrichtung (6) mit einem Mischaggregat (8) verbunden, worin mindestens zwei, vorzugsweise alle, Komponenten des Reaktionsmediums, insbesondere aber die Edukte, vor dem Eintritt in den Taylorreaktor miteinander vermischt wurden. Das Mischaggregat (8) wird über Zuleitungsrohre, die übliche und bekannte Dosiereinrichtungen und Meß- und Regelvorrichtungen sowie gegebenenfalls Wärmeaustauscher aufweisen, mit den Vorratsbehältern für die Komponenten verbunden.

Patentansprüche

1. Taylorreaktor zur Durchführung von Stoffumwandlungen mit

d) einer äußeren Reaktorwand (1) und einem hierin befindlichen konzentrisch oder exzentrisch angeordneten Rotor (2), einem Reaktorboden (3) und einem Reaktordeckel (4), welche zusammen das ringspaltförmige Reaktorvolumen (5) definieren,

e) mindestens einer Vorrichtung (6) zur Zudosierung von Komponenten des Reaktionsmediums,

f) einer Vorrichtung (7) für den Produktablauf sowie

d) mindestens einem Mischaggregat (8), das mit mindestens einer Vorrichtung (6) verbunden ist und worin zwei mindestens Komponenten des Reaktionsmediums zusammengeführt und vor ihrem Eintritt in das Reaktorvolumen (5) miteinander vermischt werden.

2. Der Taylorreaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß

f) die Reaktorwand (1) und/oder der Rotor (2) geometrisch derart gestaltet ist oder sind, daß auch bei einer Änderung der Viskosität ν des Reaktionsmediums auf im wesentlichen der gesamten Reaktorlänge im Reaktorvolumen (5) die Bedingungen für die Taylor-Wirbelströmung erfüllt sind.

3. Der Taylorreaktor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß als Mischaggregat (8) Mikromischer, In-line-Dissolver, Hochdruckhomogenisierungs-

aggregate, Druckentspannungshomogenisierungsdüsen, Microfluidizer, Sulzer-Mischer, Kenics-Mischer, Füllkörperkolonnen, kleinvolumige Durchflußrührkessel und/oder gerührte Mischkammern angewandt werden.

4. Der Taylorreaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die äußere Reaktorwand (1) und der Rotor (2) in die gleiche Richtung rotieren, wobei die Winkelgeschwindigkeit des Rotors (2) größer ist als die der äußeren Reaktorwand (1) oder daß die äußere Reaktorwand (1) stationär ist, und wogegen der Rotor (2) sich dreht.

5. Der Taylorreaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die äußere Reaktorwand (1) und der Rotor (2) über die gesamte Reaktorlänge hinweg – im Querschnitt gesehen – einen im wesentlichen kreisförmigen Umfang aufweisen.

6. Der Taylorreaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß er vertikal gelagert ist, wobei das Reaktionsmedium entgegen der Schwerkraft bewegt wird.

7. Der Taylorreaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Rotor (2) zentrisch gelagert ist.

8. Der Taylorreaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung (7) für den Ablauf der Produkte an der höchsten Stelle des Reaktordeckels (4) angebracht ist.

9. Der Taylorreaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die äußere Reaktorwand (1) und/oder der Rotor (2) geometrisch derart gestaltet ist oder sind, daß sich der Ringspalt in Durchflußrichtung verbreitert.

10. Der Taylorreaktor nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß sich der Umfang der äußeren Reaktorwand (1) in Durchflußrichtung gesehen erhöht, wobei der Umfang des Rotors (2) konstant bleibt, sich ebenfalls erhöht oder sich verringert.

11. Der Taylorreaktor nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß die äußere Reaktorwand (1) die Form eines einzelnen Kegelstumpfs hat oder aus mehreren Kegelstümpfen zusammengesetzt ist.

12. Der Taylorreaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die äußere Reaktorwand (1) und/oder der Rotor (2) geometrisch derart gestaltet ist oder sind, daß der sich der Ringspalt in Durchflußrichtung verengt.

13. Der Taylorreaktor nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß sich der Umfang der äußeren Reaktorwand (1) in Durchflußrichtung gesehen verringert, wobei der Umfang des Rotors (2) konstant bleibt, sich erhöht und sich ebenfalls verringert.

14. Der Taylorreaktor nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß die äußere Reaktorwand (1) die Form eines einzelnen Kegelstumpfs hat oder aus mehreren Kegelstümpfen zusammengesetzt ist.

15. Verfahren zur Umwandlung von Stoffen, unter den Bedingungen der Taylor-Wirbelströmung, bei dem die Viskosität ν des Reaktionsmediums im Verlauf der Reaktion gleich bleibt oder sich ändert, dadurch gekennzeichnet, daß man hierfür einen Taylorreaktor gemäß einem der Ansprüche 1 bis 14 verwendet.

16. Das Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß in dem zuerst durchströmten Teilstück des Taylorreaktors eine erste Reaktion abläuft und in einem – in axialer Durchflußrichtung gesehen – zweiten oder weiteren Teilstück nach mindestens einer weiteren Vorrichtung (6) zur Zudosierung von Edukten

und/oder Katalysatoren eine zweite, dritte, etc. Reaktion.

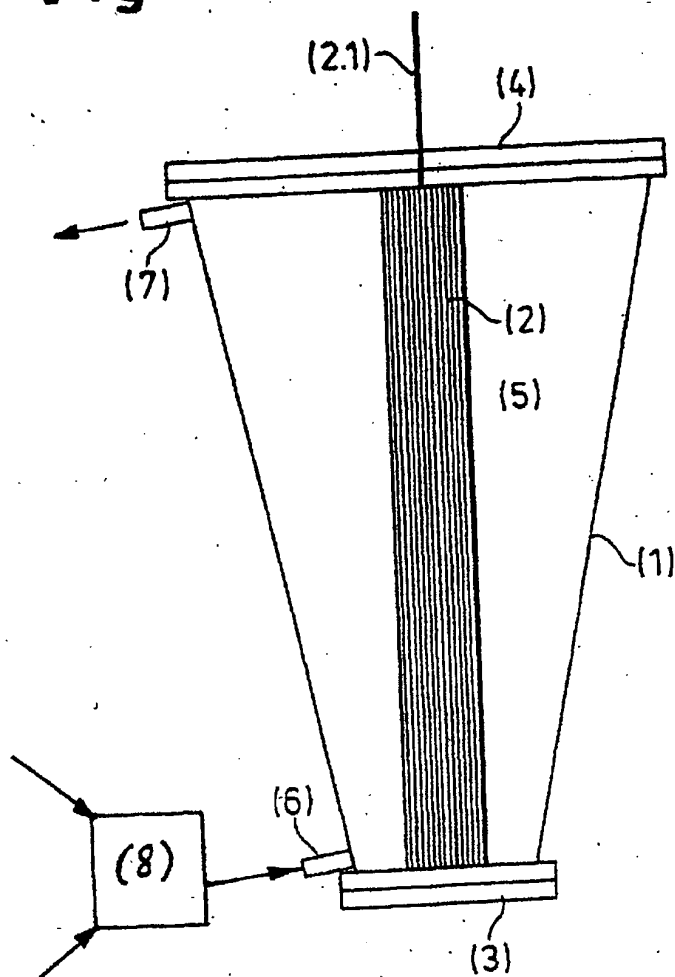
17. Das Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine weitere Vorrichtung (6) mit mindestens einem Mischaggregat (8) verbunden ist, über das Komponenten des Reaktionsmediums zugeführt werden.

18. Verwendung des Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 15 bis 17 für die Herstellung von Polymerisaten, Copolymerisaten, Blockcopolymerisaten, Pflropfmischpolymerisaten, Polykondensations- und Polyadditionsprodukten, Kern-Schale-Latices, Polymerdispersionen, von Produkten durch polymeranaloge Reaktionen, wie die Veresterung, Amidierung oder Urethanisierung von Polymeren, welche Seitengruppen enthalten, die für solche Reaktionen geeignet sind, von olefinisch ungesättigten, mit Elektronenstrahlen oder ultraviolettem Licht härtbaren Materialien oder von Mesosphasen.

19. Verwendung der nach dem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 15 bis 17 hergestellten Stoffe als Komponenten von Formteilen, Folien, Beschichtungstoffen, insbesondere Lacken, Klebstoffen und Dichtungsmassen.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

Fig. 1



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.